

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

# Offenlegungsschrift

DE 43 23 964 A 1

(21) Aktenzeichen: P 43 23 964.1

(22) Anmeldetag: 16. 7. 93

(23) Offenlegungstag: 20. 1. 94

(51) Int. Cl. 5:

H 01 L 21/324

H 01 L 21/316

C 30 B 33/02

C 30 B 31/06

DE 43 23 964 A 1

(30) Unionspriorität: (22) (33) (31)

17.07.92 JP 191118/92 28.12.92 JP 349538/92

(71) Anmelder:

Kabushiki Kaisha Toshiba, Kawasaki, Kanagawa, JP

(74) Vertreter:

Blumbach, P., Dipl.-Ing., 65193 Wiesbaden; Weser,  
W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 81245  
München; Bergen, P., Dipl.-Ing. Dr.jur., Pat.-Ass.,  
6200 Wiesbaden; Kramer, R., Dipl.-Ing., 81245  
München; Zwirner, G., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.,  
65193 Wiesbaden; Hoffmann, E., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 82166 Gräfelfing

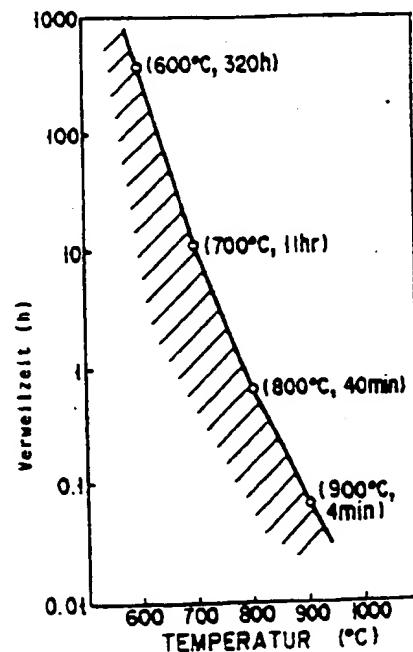
(72) Erfinder:

Nadahara, Souichi, Inagi, Tokio/Tokyo, JP; Yamabe,  
Kikuo, Yokohama, Kanagawa, JP; Kobayashi,  
Hideyuki, Yokohama, Kanagawa, JP; Terasaka,  
Kunihiro, Tokio/Tokyo, JP; Yamamoto, Akihito,  
Kanagawa, JP; Yasuhisa, Naohiko, Oita, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Halbleitersubstrat und Verfahren zu dessen Behandlung

(57) Ein Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats schließt den Schritt ein, daß man ein Halbleitersubstrat einer Hitzebehandlung in einer Gasatmosphäre unterwirft. Das Verfahren umfaßt den Schritt, daß man ein Halbleitersubstrat einer Hitzebehandlung bei Temperaturen nicht unter 1100°C in einer nicht oxidierenden Atmosphäre unterwirft, wobei die Hitzebehandlungsschritte vor der Hitzebehandlung, mit der das Halbleitersubstrat behandelt wird, bei Hitzebehandlungstemperaturen und in einer Hitzebehandlungszeit erfolgen, die in einen Bereich fallen, der durch eine Linie in einer graphischen Darstellung, in der die Hitzebehandlungstemperatur auf der Abszisse aufgetragen ist und die Hitzebehandlungszeit auf der Ordinate der graphischen Darstellung aufgetragen ist, definiert ist, die die vier Punkte (900°C, 4 Minuten); (800°C, 40 Minuten); (700°C, 11 Stunden) und (600°C, 320 Stunden) verbindet.



DE 43 23 964 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11.93 308 063/590

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Halbleitersubstrat, das eine Verschlechterung der charakteristischen Element-Eigenschaften verhindern kann, und ein Verfahren zur Behandlung des Substrats.

In den vergangenen Jahren wurden in großem Umfang Schaltkreise mit LSI (large scale integration; hoher Integrationsgrad) in wichtigen Bereichen elektronischer Computer, in Kommunikationseinrichtungen usw. verwendet. Es ist anzumerken, daß ein für die Herstellung hochintegrierter Schaltungen (LSI) verwendeter Silicium-Wafer (Siliciumplättchen) eine hochglanzpolierte (spiegelpolierte) Oberfläche aufweist.

Bei der Herstellung von Silicium-Wafers mit einer hochglanzpolierten Oberfläche wird im ersten Schritt ein säulenförmiger Siliciumkristall, der durch ein CZ-Verfahren (Czochralski-Ziehverfahren) hergestellt wurde, unter Erhalt eines kreisförmigen Silicium-Wafers geschnitten. Danach wird die Oberfläche des so erhaltenen Silicium-Wafers feingeschliffen (geläppt), geätzt oder poliert und so ein Silicium-Wafer mit einer gewünschten Dicke erhalten. Zum Schluß wird der resultierende Silicium-Wafer mit einer sauren Lösung oder einem organischen Lösungsmittel unter Erhalt eines gewünschten Silicium-Wafers mit einer hochglanzpolierten Oberfläche gewaschen.

Das oben beschriebene herkömmliche Verfahren weist jedoch tiefgreifende Mängel auf. Speziell werden dann, wenn ein Silicium-Wafer bei einer Temperatur von beispielsweise etwa 950 bis 1100°C oxidiert wird, auf der spiegelpolierten Oberfläche etwa 10 bis 100 OSF (oxydation induced stacking faults; durch Oxidation induzierte Stapelfehler) pro cm<sup>2</sup> gebildet. Fig. 10 zeigt die Ursache der OSF-Bildung (Bildung von durch Oxidation induzierten Stapelfehlern) im Oberflächenbereich eines Silicium-Wafers 1. Als Grund für die OSF-Bildung werden speziell eine Verunreinigung 2, ein feiner Kratzer 3, ein Fremdmaterial 4 wie beispielsweise SiO<sub>2</sub> oder SiC und ein Mikrodefekt 5 wie beispielsweise ein Wirbel (swirl) innerhalb eines Silicium-Wafers 1 oder Sauerstoffniederschläge angesehen.

Wenn mit einem Silicium-Wafer mit einem derartigen OSF ein Element gebildet wird, tritt ein Leckstrom an der Verbindung auf und verschlechtert die charakteristischen Element-Eigenschaften. Es sollte auch angemerkt werden, daß dann, wenn ein säulenförmiger Siliciumkristall nach dem CZ-Verfahren hergestellt wird, in dem Schritt des Kristallwachstums eine überschüssige Sauerstoffmenge aus dem Tiegel in den säulenartigen Siliciumkristall gelöst wird. Der Sauerstoffüberschuß ruft BMD (bulk micro defects; Mikrodefekte in der Masse) hervor, die eine Größe von etwa 0,1 bis 1,0 µm haben.

BMD's werden beispielsweise bei der Herstellung von CMOS-(complementary metal-oxyde semiconductors; komplementäre Metalloxid-Halbleiter-)Vorrichtungen mit einer Wannenstruktur erzeugt. Genauer gesagt, wird eine p-Wanne (p-well) oder eine n-Wanne (n-well) in einem Silicium-Wafer 1 im Anfangsschritt des Verfahrens zur Herstellung einer CMOS-Vorrichtung dieses Typs gebildet. Bei Ausbildung der p-Wanne oder n-Wanne wird eine Verunreinigung thermisch in eine Oberflächenregion des Silicium-Wafers bei einer Temperatur nicht unter 1100°C diffundiert. Während der thermischen Diffusion wird der Sauerstoff insbesondere im Oberflächenbereich des Silicium-Wafers 1 nach außen diffundiert, mit dem Ergebnis, daß eine defektfreie Schicht 12, genannt DZ (denuded zone; entblößte Zone),

im Oberflächenbereich des Silicium-Wafers gebildet wird, wie dies in Fig. 11 a gezeigt ist. Der Silicium-Wafer 1 wird dann einer Hitzebehandlung bei einer Temperatur von etwa 800°C in verschiedenen nachfolgenden Schritten unterworfen, einschließlich beispielsweise des Schritts zur Bildung eines Siliciumnitrid-Films durch ein LPCVD-Verfahren (low pressure chemical vapor deposition; Verfahren der chemischen Abscheidung aus der Dampfphase unter niedrigen Druck). Im Verlauf dieser Hitzebehandlungsschritte werden idealerweise Kerne 13 von Sauerstoffniederschlägen in einer Zwischenschicht 14 in dem Silicium-Wafer 1 gebildet, wie dies in Fig. 11 b gezeigt ist. Außerdem wird der Silicium-Wafer 1 einer Hitzebehandlung bei einer Temperatur von etwa 1000°C in dem nachfolgenden Schritt bei dem beispielsweise ein Field-Film aus einem Oxid gebildet wird, unterworfen, mit dem Ergebnis, daß ein Niederschlag über jedem der Kerne 13 wächst und BMD's 15 mit hoher Konzentration bildet.

Die oben beschriebene BMD-Bildung wird in starkem Maße nicht nur durch die Hitzebehandlung des Silicium-Wafers beeinflußt, sondern auch durch die Kohlenstoffkonzentration, die Bedingungen beim Ziehen in der Stufe des Kristallwachstums bei der Herstellung des säulenförmigen Siliciumkristalls usw. Derzeit geht man davon aus, daß ein feiner Sauerstoffniederschlag, der in der Stufe des Ziehens des säulenförmigen Siliciumkristalls entsteht, den Kern für die BMD-Bildung darstellt. Die Größe und die Anzahl der Niederschläge sind innerhalb des Silicium-Wafers nicht einheitlich. So erniedrigt sich bei der Bildung der DZ-Schicht die Sauerstoffkonzentration im Oberflächenbereich des Silicium-Wafers durch die Ausdiffusion des Sauerstoffs soweit wie möglich, so daß kein Sauerstoff mehr ausgefällt wird.

Die Hitzebehandlung für die Ausdiffusion von Sauerstoff wird im allgemeinen in einer oxidierenden Atmosphäre durchgeführt. Genauer gesagt, wird dann, wenn ein Silicium-Wafer einer Hitzebehandlung in einer nicht oxidierenden Gasatmosphäre unterworfen wird, z. B. in einer Stickstoffgasatmosphäre, die Oberfläche des Wafers in nicht einheitlicher Weise nitriert, was zu einer Aufrauhung der Oberfläche führt. Im Fall der Verwendung einer Inertgasatmosphäre erfolgt ein nicht einheitliches Ätzen auf der Wafer-Oberfläche, ausgenommen wenn eine ausreichende Reinheit des Inertgases sichergestellt wird. Ein Aufrauhen der Oberfläche, wie es oben erwähnt wurde, findet auch in diesem Fall statt. Unter diesen Umständen wird die Hitzebehandlung für die Ausdiffusion des Sauerstoffs im allgemeinen in einer oxidierenden Atmosphäre durchgeführt, wie dies oben beschrieben wurde.

Im Falle der Hitzebehandlung in einer oxidierenden Atmosphäre wird jedoch ein Oxidfilm auf der Wafer-Oberfläche gebildet, was es unmöglich macht, die Sauerstoffkonzentration im Oberflächenbereich des Wafers in ausreichender Weise zu erniedrigen. Daraus folgt, daß es schwierig ist, die Bildung eines Niederschlags in ausreichender Weise zu unterdrücken, was dazu führt, daß es nicht gelingt, eine zufriedenstellende DZ-Schicht zu bilden. Wenn ein dünner Oxidfilm wie beispielsweise ein Gate-Oxidfilm auf der Oberfläche eines Silicium-Wafers mit einer nicht zufriedenstellenden DZ-Schicht gebildet wird, bilden sich Schwachstellen, so daß sich die Durchbruchsspannung des Oxidfilms erniedrigt. Es kann wünschenswert sein, eine DZ-Schicht auszubilden, die sich tief in den Silicium-Wafer hinein erstreckt, indem man die Ausdiffusion von Sauerstoff über eine lange Zeit ausführt. In diesem Fall erniedrigt sich jedoch die

Konzentration an Sauerstoffatomen, die eine feste Lösung innerhalb des Silicium-Wafers bilden. Dies führt zu einer Verringerung der mechanischen Festigkeit des Substrats. Außerdem werden Kristalldefekte innerhalb des aktiven Bereichs des Halbleiterelements erzeugt, das in dem Wafer gebildet wird.

Eine erste Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats bereitzustellen, wobei es das Verfahren möglich macht, die Bildung von BMD oder OSF zu unterdrücken, die eine Verschlechterung der charakteristischen Eigenschaften des Elements mit sich bringt.

Eine zweite Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein Halbleitersubstrat bereitzustellen, in dem keine Bildung von BMD oder OSF erfolgt, die eine Verschlechterung der charakteristischen Eigenschaften des Elements mit sich bringen.

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung zur Erreichung der ersten Aufgabe wird ein Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats einschließlich des Schritts bereitgestellt, daß man ein Halbleitersubstrat einer Hitzebehandlung in einer Gasatmosphäre unterwirft, welches den Schritt umfaßt, daß man ein Halbleitersubstrat einer Hitzebehandlung bei einer Temperatur nicht unter 1100°C in einer nicht oxidierenden Atmosphäre unterwirft, wobei die Hitzebehandlungsschritte vor der Hitzebehandlung, die an dem Halbleitersubstrat erfolgt, unter Hitzebehandlungstemperaturen und in einer Hitzebehandlungszeit erfolgen, die in einen Bereich fallen, der durch eine Linie in einer graphischen Darstellung, in der die Hitzebehandlungs-temperatur auf der Abszisse und die Hitzebehandlungszeit auf der Ordinate der graphischen Darstellung aufgetragen ist, definiert ist, die die folgenden vier Punkte miteinander verbindet: (900°C, 4 Minuten); (800°C, 40 Minuten); (700°C, 11 Stunden) und (600°C, 320 Stunden). Die Koordinatenpunkte der Hitzebehandlungs-temperatur und -zeit in der graphischen Darstellung, die auf der Linie liegen, die die vier oben angegebenen Punkte miteinander verbindet, sind in den technischen Bereich der vorliegenden Erfindung eingeschlossen.

Es wurde im Rahmen extensiver Forschungen im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung gefunden, daß die Bildung von OSF und BMD ausreichend unterdrückt werden kann, wenn die Hitzebehandlungstemperatur und -zeit so gewählt werden, daß sie in den besonderen Bereich fallen, der oben definiert wurde. Es folgt daraus, daß es das Verfahren der vorliegenden Erfindung zur Behandlung eines Halbleitersubstrats möglich macht, einen zufriedenstellenden Oxidfilm auf der Oberfläche eines Substrats auszubilden.

Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats bereitgestellt, das die Schritte umfaßt, daß man Siliciumatome in Bereiche zwischen den Gittern innerhalb eines Siliciumsubstrats einführt und Sauerstoff, der in dem Siliciumsubstrat enthalten ist, nach außen herausdiffundieren läßt und das Siliciumsubstrat einer Hitzebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre unterwirft.

In dem Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung werden Siliciumatome vorzugsweise in Bereiche zwischen den Gittern in einem Siliciumsubstrat eingeführt, mit dem Ergebnis, daß Sauerstoff wahrscheinlich nicht in Bereichen innerhalb der Gitter des Siliciumsubstrats gefällt wird. Da Sauerstoff in dem Siliciumsubstrat nach außen diffundiert, kann auch die Sauerstoffkonzentration im Bereich zwischen

den Gittern im Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats gesenkt werden, während man die Präzipitation von Sauerstoff unterdrückt. Außerdem ermöglicht die Hitzebehandlung, die in einer nicht oxidierenden Atmosphäre durchgeführt wird, Mikrodefekte zu reparieren und eine Ausdiffusion von Sauerstoff zuzulassen. Daraus folgt, daß es möglich ist, ein Siliciumsubstrat zu erhalten, das nur wenige Substratdefekte wie beispielsweise BMD aufweist.

Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats bereitgestellt, das die Schritte umfaßt, daß man ein Halbleitersubstrat einer Hitzebehandlung bei einer Temperatur nicht unter 1100°C in einer oxidierenden Atmosphäre unter Bildung eines Oxidfilms auf der Oberfläche des Siliciumsubstrats unterwirft und den Oxidfilm entfernt, um die Oberfläche des Siliciumsubstrats freizulegen, und anschließend das Siliciumsubstrat mit der freigelegten Oberfläche einer Hitzebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre unterwirft.

Die im Verfahren gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung eingesetzte, nicht oxidierende Atmosphäre schließt nicht nur eine Inertgasatmosphäre wie beispielsweise eine Argongasatmosphäre ein, sondern auch eine Atmosphäre, in der eine unerwünschte Reaktion mit der Substratoberfläche nicht zustande kommt, sowie eine Atmosphäre, die die Substratoberfläche nicht schädigt. In dem Verfahren gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Oxidfilm durch Hitzebehandlung in einer oxidierenden Atmosphäre bei Temperaturen nicht unter 1100°C gebildet. In dem Oxidationsschritt erhöht sich das Volumen in einem Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats, wodurch eine Umordnung des Siliciumkristalls bewirkt wird. Es ist anzumerken, daß Siliciumatome, die nicht oxidiert wurden, in einen inneren Bereich des Siliciumsubstrats wandern, mit dem Ergebnis, daß Siliciumatome in Bereiche zwischen den Gittern des Siliciumkristalls eingeführt werden. Gleichzeitig diffundieren Sauerstoffatome innerhalb des Siliciumsubstrats nach außen, wodurch die Sauerstoffniederschläge innerhalb des Siliciumsubstrats zurückgehen. Es ist anzumerken, daß die in einer nicht oxidierenden Atmosphäre durchgeführte Hitzebehandlung die Reparatur von Mikrodefekten erlaubt und es auch ermöglicht, daß weiter Sauerstoff nach außen diffundiert. Es folgt daraus, daß es möglich ist, ein Siliciumsubstrat mit weniger Substratdefekten wie beispielsweise PMD zu erhalten.

Gemäß einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung, der auf die zweite, vorstehend beschriebene Aufgabe gerichtet ist, wird ein Halbleitersubstrat bereitgestellt, das einen ersten Bereich, der zwischen der oberen Oberfläche und einer Ebene definiert ist, die eine Tiefe von 10 µm hat, gemessen von der oberen Oberfläche, wobei der erste Bereich eine Defektdichte nicht höher als  $10^7$  Defekte pro  $\text{cm}^3$  aufweist, und einen zweiten Bereich umfaßt, der zwischen der zentralen Ebene des Halbleitersubstrats und der Ebene definiert ist, die eine Tiefe von 50 µm aufweist, gemessen von der oberen Oberfläche, wobei der zweite Bereich eine konstante Defektdichte aufweist, die in einen Bereich zwischen  $10^7$  Defekte/ $\text{cm}^3$  und  $10^9$  Defekte/ $\text{cm}^3$  fällt, wobei die Defektdichte innerhalb des Bereichs, der zwischen dem ersten und dem zweiten Bereich gelegen ist, so verteilt ist, daß die Defektdichte mit einem Rückgang der Entfernung von der oberen Oberfläche zurückgeht. Der Begriff "Defekt", wie er oben angegeben wurde, stellt einen Substratdefekt wie beispielsweise BMD dar.

Entsprechend den im Rahmen der vorliegenden Erfindung durchgeföhrten Forschungen macht es ein Halbleitersubstrat mit einer wie oben beschriebenen Defektdichte-Verteilung möglich, zu verhindern, daß die charakteristischen Element-Eigenschaften durch Substratdefekte wie beispielweise BMD verschlechtert werden.

Weitere Aufgaben und Vorteile der Erfindung werden in der folgenden Beschreibung beschrieben und werden zum Teil aus der Beschreibung offensichtlich oder können durch eine praktische Anwendung der Erfindung erlernt werden. Die Aufgaben und Vorteile der Erfindung können realisiert und erhalten werden mittels der Instrumente und Kombinationen, die in den beigefügten Ansprüchen besonders aufgeführt sind.

Die beigefügten Zeichnungen, die in die Beschreibung einbezogen werden und einen Teil davon darstellen, veranschaulichen derzeit bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung und dienen zusammen mit der vorstehend gegebenen allgemeinen Beschreibung und der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen zur Erläuterung der Prinzipien der Erfindung.

Fig. 1 ist eine Graphik, die die Beziehung zwischen der Hitzebehandlungszeit und der OSF-Dichte zeigt.

Fig. 2 ist eine Graphik, die die Beziehung zwischen der Tiefe und der BMD-Dichte zeigt.

Fig. 3 ist eine Graphik, die die Beziehung zwischen der Verweilzeit und der BMD-Dichte zeigt.

Fig. 4 zeigt einen Bereich, wo die Defektdichte in ausreichender Weise unterdrückt werden kann, wobei die Region definiert ist durch die Hitzebehandlungstemperatur und die Hitzebehandlungszeit.

Fig. 5 ist eine Graphik, die die Beziehung zwischen der Tiefe, der BMD-Dichte und der Hitzebehandlungszeit zeigt.

Fig. 6 ist eine Graphik, die die Beziehung zwischen der Oxidationstemperatur und der Menge an gefälltem Sauerstoff zeigt.

Fig. 7 ist eine Graphik, die die Beziehung zwischen der anfänglichen Sauerstoffkonzentration und der BMD-Dichte zeigt.

Fig. 8 ist eine Graphik, die die Beziehung zwischen der Tiefe und der Sauerstoffkonzentration zeigt.

Fig. 9 ist eine Graphik, die die BMD-Dichtevertteilung in Verbindung mit der Hitzebehandlung zeigt.

Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht, die einen Silicium-Wafer zeigt, zur Beschreibung der Probleme, die mit dem Stand der Technik verbunden sind.

Fig. 11 A bis 11 C zeigen gemeinsam das Sauerstoff-Fällungsverhalten.

Nachfolgend werden einige Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. In einem ersten Schritt wird ein Silicium-Wafer in einer trockenen Atmosphäre bei 780°C für die Zeit von 3 Stunden und danach bei 1000°C für die Zeit von 16 Stunden unter Erhalt eines Silicium-Wafers mit einer OSF-Dichte von  $2 \times 10^3/\text{cm}^2$  oxidiert. Danach wird der resultierende Silicium-Wafer einer Hitzebehandlung in einer Inertgasatmosphäre wie beispielsweise in Argongas oder Heliumgas bei 1200°C für 1 bis 8 Stunden unterworfen.

Nach der Hitzebehandlung in einer Inertgasatmosphäre wird der Silicium-Wafer bei 780°C 3 Stunden in einer trockenen Atmosphäre oxidiert. Dem folgt eine weitere Oxidationsbehandlung bei 1000°C für 16 Stunden in einer trockenen Atmosphäre. Danach wird die Oberfläche des Silicium-Wafers in gewissem Ausmaß

geitzt.

Der so erhaltene Silicium-Wafer wurde mit einem optischen Mikroskop untersucht, mit dem Ergebnis, daß man fand, daß die OSF-Dichte etwa 4 OSF/cm<sup>2</sup> war, wie dies in Fig. 1 gezeigt ist. Mit anderen Worten: Man fand, daß die Hitzebehandlung in einer Inertgasatmosphäre in der Weise wirksam ist, daß sie die OSF-Dichte erniedrigt. Andererseits wurde gefunden, daß ein Silicium-Wafer, den man nicht in der oben beschriebenen Weise hitzebehandelt hatte, d. h. mit einer Hitzebehandlung bei 780°C für 3 Stunden und einer nachfolgenden Hitzebehandlung bei 1000°C für 16 Stunden, eine OSF-Dichte von etwa 0,6 OSF/cm<sup>2</sup> aufwies. Mit anderen Worten: Man fand, daß die OSF-Dichte im wesentlichen 0 war. In der oben beschriebenen Ausführungsform erfolgte die Hitzebehandlung im wesentlichen bei einem Wafer, dessen Oberfläche nicht mit einem Schutzfilm wie beispielsweise einem Oxidfilm überzogen war. Wenn also die Inertgasatmosphäre Sauerstoff, Stickstoff oder ein Gas auf Basis von Kohlenstoff als Verunreinigung enthält, besteht eine Neigung dazu, daß die Wafer-Oberfläche aufgeraut ist. Um diese Schwierigkeit zu überwinden, ist es wünschenswert, die Konzentration an Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff oder einem Gas auf Basis von Kohlenstoff in der Inertgasatmosphäre auf eine Konzentration von 10 ppb oder weniger zu drücken.

Es wird nun eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Wenn es speziell zur Herstellung einer CMOS-(Komplementär-Metalloxid-Halbleiter-)Vorrichtung mit einer Kanalstruktur kommt, wird eine p-Wanne oder n-Wanne im ersten Schritt der Herstellung der Vorrichtung gebildet. Es wird also eine Verunreinigung thermisch in einem Oberflächenbereich eines Silicium-Wafers im Wege einer Hitzebehandlung bei einer Temperatur nicht unter 1.000°C für einige Stunden in einer nicht oxidierenden Atmosphäre diffundiert. Im Rahmen des thermischen Diffusionsschritts diffundieren die in dem Oberflächenbereich des Silicium-Wafers enthaltenen Sauerstoffatome nach außen, und es wird so eine DZ-Schicht in dem Oberflächenbereich des Silicium-Wafers gebildet. Danach wird der Silicium-Wafer verschiedenen Behandlungsschritten unterworfen, einschließlich eines Schritts der Bildung eines Nitridfilms im Rahmen eines LPCVD-Verfahrens. Natürlich wird der Silicium-Wafer mehrfach bei etwa 600 bis 800°C hitzebehandelt, mit dem Ergebnis, daß Kerne für einen Sauerstoffniederschlag innerhalb des Silicium-Wafers gebildet werden. Es ist in hohem Maße wünschenswert, daß Kerne für den Sauerstoffniederschlag in der Zwischenschicht innerhalb des Silicium-Wafers gebildet werden. Wenn der Silicium-Wafer nachfolgend einer Hitzebehandlung bei etwa 1000°C in den Schritt beispielsweise der Bildung eines Field-Oxidfilms unterzogen wird, wächst der Sauerstoffniederschlag über den Kern hinaus. Im Ergebnis wird mit hoher Dichte über den gesamten Bereich des Silicium-Wafers ein BMD gebildet. Die Kernbildung für einen Sauerstoffniederschlag wird in hohem Maße nicht nur durch die Hitzebehandlung im Laufe der verschiedenen Behandlungsschritte des Silicium-Wafers beeinflußt, sondern auch durch die Kohlenstoffkonzentration, die Bedingungen beim Ziehen in der Stufe des Kristallwachstums usw. Daraus folgt, daß die Größe und die Zahl der Niederschläge innerhalb des Silicium-Wafers nicht einheitlich ist.

Um die BMD-Bildung zu unterdrücken, wird der Silicium-Wafer vor den oben beschriebenen Schritten bei 1200°C 4 Stunden lang in einer Argongasatmosphäre

hitzebehandelt. Fig. 2 zeigt die Beziehung zwischen der Tiefe, gerechnet von der Oberfläche des Silicium-Wafers, und der BMD-Dichte. Die durchgezogene Linie in Fig. 2 stellt einen Silicium-Wafer dar, der wie oben beschrieben in einer Argongasatmosphäre hitzebehandelt wurde. Zum Vergleich schließt Fig. 2 auch eine durchgezogene Linie ein, die die Verhältnisse bei einem herkömmlichen Silicium-Wafer darstellt, der nicht in einer Argongasatmosphäre hitzebehandelt wurde.

Fig. 2 zeigt deutlich, daß der Silicium-Wafer gemäß der vorliegenden Erfindung (durchgezogene Linie) eine 3MD-Dichte aufweist, die viel niedriger ist als die eines herkömmlichen Silicium-Wafers im Oberflächenbereich mit einer Tiefe nicht über 20 µm, gemessen von der Oberfläche. Außerdem liegt bei dem Silicium-Wafer gemäß der vorliegenden Erfindung die BMD-Dichte im Oberflächenbereich mit einer Tiefe nicht über 10 µm bei einem so niedrigen Wert wie  $1 \times 10^7$  BMD/cm<sup>3</sup> oder weniger.

Außerdem erfolgte eine Hitzebehandlung bei hoher Temperatur in einer Argongasatmosphäre, indem man die Verweilzeit im Ofen änderte, wobei die Innentemperatur auf 800 °C festgesetzt wurde. Fig. 3 zeigt das Ergebnis. Es wurde gefunden, daß der Sauerstoffniederschlag in einem Oberflächenbereich des Silicium-Wafers stark unterdrückt werden kann, wenn die Verweilzeit auf etwa 40 Minuten festgesetzt wird. Genauer gesagt, wird die BMD-Dichte allgemein erniedrigt, wenn die Verweilzeit verkürzt wird. Es wurde jedoch gefunden, daß sich die BMD-Dichte erhöht, wenn die Verweilzeit kürzer ist als ein bestimmter Wert. Es wurde für diesen Fall gefunden, daß die BMD-Dichte ansteigt, wenn die Verweilzeit 20 Minuten oder weniger beträgt.

Fig. 4 zeigt einen Bereich, in dem die BMD-Dichte in ausreichender Weise unterdrückt werden kann, wobei dieser Bereich durch eine Hitzebehandlungszeit und eine Hitzebehandlungszeit definiert ist. Genauer gesagt, kann die BMD-Dichte ausreichend unterdrückt werden, wenn die Hitzebehandlung innerhalb des in der graphischen Darstellung von Fig. 4 schraffiert gezeichneten Bereichs durchgeführt wird, wobei dieser Bereich definiert wird durch eine durchgezogene Linie, die durch die Punkte (900°C, 4 Minuten); (800°C, 40 Minuten); (700°C, 11 Stunden) und (600°C, 320 Stunden) verläuft, einschließlich der Werte auf der durchgezogenen Linie. Beispielsweise sollte bei der Herstellung einer CMOS-Vorrichtung mit einer Wannenstruktur, wie sie oben beschrieben ist, die Hitzebehandlung bei dem Siliciumsubstrat unter den Bedingungen erfolgen, die in den in Fig. 4 schraffiert gezeichneten Bereich fallen, bevor die Hitzebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre bei einer Temperatur nicht unter 1100°C durchgeführt wird. In diesem Fall kann die Qualität des Siliciumsubstrats verbessert werden. Dies macht es möglich, eine CMOS-Vorrichtung zu erhalten, die exzellente Eigenschaften zeigt.

Es versteht sich, daß die spezielle Hitzebehandlung, wie sie im Rahmen der vorliegenden Erfindung definiert wird, ermöglicht, daß Siliciumatome vorzugsweise in Bereiche in den Gittern des Siliciumkristalls des Substrats eingeführt werden und dabei im wesentlichen vollständig verhindern, daß die Sauerstoffatome innerhalb der speziellen Bereiche, wie sie oben angegeben wurden, gefällt werden. Gleichzeitig diffundieren die Sauerstoffatome in dem Siliciumsubstrat offenbar nach außen, mit dem Ergebnis, daß die Sauerstoffkonzentration innerhalb des Gitters in einem Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats erniedrigt wird, ohne zu einer Sau-

erstoff-Fällung zu führen. Außerdem werden die Mikrodefekte durch die Hitzebehandlung in der nicht oxidierenden Atmosphäre repariert, wodurch die Diffusion des Sauerstoffs nach außen weiter gefördert wird. Dies führt zu der vorstehend beschriebenen hervorragenden Wirkung.

Fig. 5 zeigt die Beziehung zwischen der Tiefe, angegeben von der Wafer-Oberfläche, und der BMD-Dichte. Es ist erkennbar, daß bei einer Verweilzeit von 20 Minuten die Hitzebehandlung bei einer Temperatur nicht unter 1100°C, die in einer nicht oxidierenden Atmosphäre durchgeführt wird, ermöglicht, daß die BMD-Konzentration in einem Oberflächenbereich des Silicium-Wafers wirksam auf eine niedrige Dichte eingestellt wird. Genauer gesagt, macht es die gemäß der vorliegenden Erfindung speziell angewandte Hitzebehandlung möglich, ein Halbleitersubstrat zu erhalten, das einen ersten Bereich, der zwischen der äußeren Oberfläche und einer Ebene mit einer Tiefe von 10 µm, gemessen von der äußeren Oberfläche, definiert ist, wobei der erste Bereich eine Defektdichte (BMD-Dichte) nicht über  $10^7$  Defekte/cm<sup>3</sup> aufweist, und einen zweiten Bereich umfaßt, der zwischen der inneren Oberfläche und einer Ebene liegt, die eine Tiefe von 50 µm aufweist, gemessen von der äußeren Oberfläche, wobei der zweite Bereich eine konstante Defektdichte aufweist, die in einen Bereich von  $10^7$  Defekte/cm<sup>3</sup> bis  $10^9$  Defekte/cm<sup>3</sup> fällt, wobei die Defektdichte innerhalb des Bereichs, der zwischen dem ersten Bereich und dem zweiten Bereich gelegen ist, so verteilt ist, daß die Defektdichte mit einem Rückgang der Entfernung von der äußeren Oberfläche zurückgeht.

Ein Oberflächenbereich eines Silicium-Wafers, der in der in der vorliegenden Erfindung speziell angegebenen Weise hitzebehandelt worden war, wurde bei 950°C unter Bildung eines Oxidfilms mit einer Dicke von 20 nm oxidiert. Dadurch wurden Kondensatoren hergestellt. In gleicher Weise wurden weitere Kondensatoren unter Verwendung eines herkömmlichen Silicium-Wafers hergestellt, der nicht in der im Rahmen der vorliegenden Erfindung speziell angegebenen Weise hitzebehandelt worden war. Jeder der so hergestellten Kondensatoren wurde dadurch bewertet, daß man ein elektrisches Feld einer Intensität nicht über 8 MV/cm anlegte. Man fand, daß die unter Verwendung herkömmlicher Silicium-Wafer hergestellten Kondensatoren bei Anlegen des elektrischen Feldes brachen, wobei das Bruchverhältnis bei einem so hohen Wert wie 20 bis 60% lag. Andererseits wurde für die Kondensatoren, die unter Verwendung des Silicium-Wafers hergestellt worden waren, den man bei 1100°C oder mehr hitzebehandelt hatte, wie dies erfindungsgemäß vorgesehen ist, gefunden, daß der Anteil an Kondensatoren mit einer schlechten Durchbruchsspannung nur einige wenige Prozente betrug.

Wie oben beschrieben ist es wichtig, einen Silicium-Wafer unter Bedingungen einer Hitzebehandlung zu unterziehen, die in den in Fig. 4 schraffiert gezeichneten Bereich fallen, und anschließend den Silicium-Wafer bei einer Temperatur nicht unter 1100°C in einer nicht oxidierenden Atmosphäre wie beispielsweise einer Argongasatmosphäre weiter mit Hitze zu behandeln. Die spezielle im Rahmen der vorliegenden Erfindung angegebene Behandlungsweise macht es möglich, die OSF-Bildung zu unterdrücken und gleichzeitig eine nicht einheitliche Verteilung von Sauerstoffniederschlägen, die in dem Oberflächenbereich des Silicium-Wafers gebildet werden, zu verhindern. Daraus folgt, daß es möglich

ist, den schlechten Wert der Durchbruchsspannung des Oxidfilms zu verbessern. Nebenbei gesagt wurde die Hitzebehandlung in der oben beschriebenen Ausführungsform über eine Zeit von 4 Stunden durchgeführt.

Es können jedoch ähnliche Wirkungen erzielt werden, wenn die besondere Hitzebehandlung für eine Zeit von wenigstens 1 Stunde durchgeführt wird.

Es ist anzumerken, daß sich dann, wenn die Hitzebehandlung für eine ungebührlich lange Zeit durchgeführt wird, die Menge an Sauerstoffniederschlag in dem Silicium-Wafer erhöht. Dies führt zu den Problemen, daß sich der Silicium-Wafer während des Verfahrens verbiegt und daß die Belastungsgrenzen in bezug auf die in das Verfahren eingeschlossenen Hitzebehandlungsschritte erniedrigt sind. Es wurde experimentell durch die Arbeiten im Rahmen der vorliegenden Erfindung bestätigt, daß dann, wenn Sauerstoff in dem Silicium-Wafer in einer Menge, die  $2 \times 10^7$  Atome/cm<sup>3</sup> übersteigt, durch die Hitzebehandlung gefällt wird, die in einer nicht oxidierenden Atmosphäre durchgeführt wird. Kristaldefekte in dem Silicium-Wafer erzeugt werden, was zu einer Verschlechterung der charakteristischen Eigenschaften des Elements führt. Um diese Schwierigkeit zu überwinden, ist es erforderlich, solche Bedingungen der Hitzebehandlung zu wählen, die es ermöglichen, daß die Sauerstoffkonzentration in einem Oberflächenbereich des Silicium-Wafers  $1 \times 10^{17}$  Atome/cm<sup>3</sup> oder weniger ist, und die es auch erlauben, die Sauerstoffkonzentration in einem inneren Bereich des Silicium-Wafers auf einen Wert von  $2 \times 10^{17}$  Atome/cm<sup>3</sup> oder weniger einzustellen.

In einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Siliciumsubstrat wie folgt behandelt: Im ersten Schritt wird ein Siliciumsubstrat einer Hitzebehandlung bei einer Temperatur nicht unter 1100°C in einer oxidierenden Atmosphäre (100% trockener Sauerstoff) unterworfen und so ein Siliciumoxid-Film auf der Oberfläche des Siliciumsubstrats gebildet. Durch diese Hitzebehandlung werden Siliciumatome in Bereiche innerhalb der Kristallgitter innerhalb des Siliciumsubstrats eingeführt. Dies macht es möglich, die Fällung von Sauerstoff in den Kristallgittern innerhalb des Siliciumsubstrats zu unterdrücken.

Man geht davon aus, daß die Einführung der Siliciumatome in Bereiche innerhalb der Kristallgitter wie folgt erfolgt: Wenn speziell ein Siliciumoxid-Film durch die Hitzebehandlung bei einer Temperatur nicht unter 1100°C gebildet wird, erfolgt offenbar eine Umordnung von Siliciumatomen in einem Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats. Es ist anzumerken, daß der Überschuß an Siliciumatomen, die wegen der Ausdehnung, die die Bildung des Siliciumoxid-Films begleitet, nicht zu der Umordnung beitragen können, in den inneren Bereich des Siliciumsubstrats wandern und dort in den Kristallgittern angeordnet werden.

Im nächsten Schritt wird der Siliciumoxid-Film, der auf der Oberfläche des Siliciumsubstrats gebildet wurde, entfernt. Dem folgt eine Hitzebehandlung des Siliciumsubstrats bei 1200°C für eine Zeit von 4 Stunden in einer Inertgasatmosphäre. Nebenbei gesagt, ist es nicht absolut notwendig, die besondere Hitzebehandlung 4 Stunden lang durchzuführen. Es reicht im allgemeinen aus, die besondere Hitzebehandlung wenigstens 1 Stunde lang durchzuführen.

Fig. 6 ist eine graphische Darstellung, die die Beziehung zwischen der Temperatur der Hitzebehandlung unter oxidierender Atmosphäre (Oxidationstemperatur) und der Menge (Konzentration) an gefälltem Sauerstoff

zeigt. Aus der graphischen Darstellung ist ersichtlich, daß dann, wenn die Oxidationstemperatur wenigstens 1100°C beträgt, die Menge an Sauerstoffniederschlag kleiner ist als in einem unbehandelten Siliciumsubstrat. Mit anderen Worten: Fig. 6 stützt die Auffassung, daß es erforderlich ist, die Oxidationsbehandlung bei einer Temperatur nicht unter 1100°C durchzuführen.

Fig. 7 ist eine graphische Darstellung, die die Beziehung zwischen der anfänglichen Sauerstoffkonzentration und der BMD-Dichte zeigt. Schwarze Punkte in Fig. 7 zeigen die Meßergebnisse an einem Siliciumsubstrat an, das in einer oxidierenden Atmosphäre, wie sie in der vorliegenden Erfindung speziell beschrieben ist, hitzebehandelt worden war. Genauer gesagt, decken die schwarzen Punkte den Fall ab, in dem ein Siliciumsubstrat, das einer Hitzebehandlung bei 1200°C für 1 Stunde in einer oxidierenden Atmosphäre unterworfen worden war, einer Hitzebehandlung bei 1200°C für 1 Stunde in einer Argongasatmosphäre unterworfen wurde.

Andererseits zeigen die weißen Punkte in Fig. 7 die Meßergebnisse von einem Siliciumsubstrat an, das nicht in einer oxidierenden Atmosphäre bei 1200°C hitzebehandelt worden war. Genauer gesagt, decken die weißen Punkte den Fall ab, in dem ein Siliciumsubstrat einfach einer Hitzebehandlung in einer Argongasatmosphäre unterworfen worden war.

Wie aus Fig. 7 offenbar ist, ermöglicht es die Hitzebehandlung bei 1200°C in einer oxidierenden Atmosphäre, daß die BMD-Dichte niedrig gehalten werden kann, unabhängig der anfänglichen Sauerstoffkonzentration. Andererseits erhöht sich die BMD-Dichte mit einem Anstieg der Anfangs-Sauerstoffkonzentration in dem Fall, in dem der Silicium-Wafer nicht in einer oxidierenden Atmosphäre hitzebehandelt wird. Mit anderen Worten: Die in Fig. 7 wiedergegebenen experimentellen Ergebnisse stützen die Annahme, daß die Hitzebehandlung in einer oxidierenden Atmosphäre zur Erniedrigung der BMD-Dichte absolut notwendig ist.

Fig. 8 ist eine graphische Darstellung, die die Beziehung zwischen der Tiefe von der Oberfläche des Siliciumsubstrats und der Sauerstoffkonzentration zeigt. Kurve a erfaßt die Beziehung vor der Hitzebehandlung des Silicium-Wafers in einer Inertgasatmosphäre, der einer Hitzebehandlung in einer oxidierenden Atmosphäre unterzogen worden war. Andererseits erfaßt Kurve b die Beziehung nach Anwendung der besonderen Hitzebehandlung. Wie sich offensichtlich aus Fig. 8 ergibt, bleibt die Sauerstoffkonzentration in dem Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats, die insgesamt unmittelbar nach der Hitzebehandlung in einer oxidierenden Atmosphäre hoch ist, insgesamt niedrig infolge der nachgeschalteten Hitzebehandlung in einer Inertgasatmosphäre. Es ist anzumerken, daß die Hitzebehandlung in einer Inertgasatmosphäre dazu führt, daß die Sauerstoffatome in dem Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats nach außen diffundieren und so die Sauerstoffkonzentration in dem Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats erniedrigt wird.

Fig. 9 zeigt die Wirkung, die durch die auf das Siliciumsubstrat in einer Inertgasatmosphäre aufgebrachte Hitzebehandlung bewirkt wird. Genauer gesagt, zeigt Fig. 9 die Beziehung zwischen der Tiefe, gerechnet von der Oberfläche des Siliciumsubstrats und der BMD-Dichte. Kurve c in Fig. 9 deckt den Fall ab, in dem die Hitzebehandlung in einer Inertgasatmosphäre nicht an dem Siliciumsubstrat angewendet wird, und Kurve d deckt den Fall ab, in dem die besondere Hitzebehandlung an dem Siliciumsubstrat angewendet wird. Wie aus

Fig. 9 ersichtlich ist, kann die BMD-Dichte in ausreichender Weise durch die Hitzebehandlung in einer Inertgasatmosphäre erniedrigt werden.

Wie vorstehend ausgeführt wird, ruft die Hitzebehandlung in einer Inertgasatmosphäre eine Diffusion der Sauerstoffatome in einem Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats nach außen hervor, so daß die Konzentration an BMD in einem Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats zurückgeht. Dies führt zu einer merklichen Verringerung der BMD-Dichte, wie dies in Fig. 9 gezeigt ist. Nebenbei gesagt geht auch die Konzentration an OSF in dem Schritt der Hitzebehandlung des Siliciumsubstrats in einer Inertgasatmosphäre zurück.

Um die BMD-Konzentration in einem Siliciumoxid-Film und in einem Oberflächenbereich eines Siliciumsubstrats zu bewerten, wurden erfahrungsgemäß Kondensatoren in der Weise hergestellt, daß man einen Oberflächenbereich eines Siliciumsubstrats oxidierte, der vorher in einer Inertgasatmosphäre bei 950°C hitzebehandelt worden war. Dadurch wurde ein Oxidfilm mit einer Dicke von 20 nm auf der Oberfläche des Siliciumsubstrats gebildet. Es wurde gefunden, daß es dann, wenn die Hitzebehandlung in einer oxidierenden Atmosphäre bei einer Temperatur nicht unter 1100°C durchgeführt wird, möglich ist, wirksam die BMD-Dichte in dem Siliciumoxid-Film und in dem Oberflächenbereich des Siliciumsubstrats auf einen ausreichend niedrigen Wert einzuregeln. Außerdem wurde ein elektrisches Feld einer Intensität nicht über 8 MV auf den Kondensator in dem Versuch aufgebracht, die Durchbruchspannung des Kondensators zu untersuchen. Es wurde gefunden, daß das Durchbruchverhältnis (Zahl der die maximale Spannung nicht überstehenden Kondensatoren zur Gesamtzahl der untersuchten Kondensatoren) nur wenige Prozente betrug.

Zum Vergleich wurden weitere Kondensatoren unter Verwendung eines herkömmlichen Siliciumsubstrats hergestellt, das vorher nicht unter einer oxidierenden Atmosphäre hitzebehandelt worden war. In diesem Fall wurde ebenfalls ein elektrisches Feld einer Intensität nicht über 8 MV an den Kondensator gelegt, in dem Versuch, die Durchbruchspannung des Kondensators zu untersuchen. Es wurde gefunden, daß das Durchbruchverhältnis einen Wert in der Höhe von 20 bis 60% hatte.

Wie oben beschrieben, wird in dieser Ausführungsform eine Hitzebehandlung an einem Siliciumsubstrat bei 1100°C in einer oxidierenden Atmosphäre angewendet. Dem folgt die Anwendung einer weiteren Hitzebehandlung an dem Siliciumsubstrat in einer Inertgasatmosphäre bei 1200°C. Diese Behandlungsschritte führen dazu, daß es möglich ist, die Bildung von BMD und OSF zu unterdrücken, die eine Verschlechterung der charakteristischen Eigenschaften des Elements bewirken, ohne daß eine Verschlechterung der mechanischen Festigkeit des Siliciumsubstrats erfolgt.

In diesem Fall sind die Temperaturen der beiden Hitzebehandlungsschritte in einer oxidierenden Atmosphäre und in einer Inertgasatmosphäre beide vorzugsweise nicht niedriger als 1100°C. In einer Inertgasatmosphäre ist die Anwendung einer Temperatur nicht unter 1200°C noch mehr bevorzugt.

In noch einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Siliciumsubstrat wie folgt behandelt: Im ersten Schritt wird ein Oxidfilm auf einem Siliciumsubstrat beispielsweise im Wege eines thermischen Oxidationsverfahrens oder eines CVD-Verfahrens gebildet. Danach wird das Siliciumsubstrat einer Hitzebehandlung bei einer Temperatur nicht unter

1100°C in einer nicht oxidierenden Atmosphäre wie beispielsweise in einer Stickstoffgasatmosphäre unterzogen. Zum Schluß wird der auf dem Siliciumsubstrat gebildete Oxidfilm entfernt. Dem folgt ein Schritt der Hitzebehandlung des Siliciumsubstrats in einer Inertgasatmosphäre wie beispielsweise in einer Argongasatmosphäre.

In der oben beschriebenen Ausführungsform werden Siliciumatome in Bereiche zwischen den Kristallgittern innerhalb des Siliciumsubstrats durch die Hitzebehandlung eingeführt, die bei einer Temperatur nicht unter 1100°C in einer nicht oxidierenden Atmosphäre wie beispielsweise einer Stickstoffgasatmosphäre durchgeführt wird. Gleichzeitig diffundieren Sauerstoffatome aus dem Inneren des Siliciumsubstrats nach außen. Dies hat zum Ergebnis, daß die Menge an Sauerstoffniederschlag in ausreichender Weise verringert werden kann. Daraus folgt, daß eine hervorragende Wirkung, die ähnlich der ist, die vorstehend beschrieben wurde, auch bei dieser Ausführungsform erreicht werden kann.

Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt. Beispielsweise ist eine Argongasatmosphäre als nicht oxidierende Atmosphäre in den oben beschriebenen Ausführungsformen verwendet worden. Jedoch kann auch eine andere Inertgasatmosphäre als eine Argongasatmosphäre oder eine Wasserstoffgasatmosphäre anstelle der Argongasatmosphäre verwendet werden, wobei im wesentlichen die gleiche Wirkung erreicht wird. Natürlich können im Rahmen des technischen Umfangs der vorliegenden Erfindung verschiedene Modifikationen vorgenommen werden.

Weitere Vorteile und Modifikationen werden in einfacher Weise Fachleuten in diesem Bereich der Technik offenbar. Daher ist die vorliegende Erfindung in ihren breiteren Aspekten nicht auf die speziellen Details, beispielhaft angegebenen Vorrichtungen und veranschaulichten Beispiele beschränkt, wie sie oben gezeigt und beschrieben wurden. Dementsprechend können verschiedene Modifikationen durchgeführt werden, ohne vom Geist oder Umfang des allgemeinen erfinderischen Konzepts abzuweichen, wie es in den nachfolgenden Ansprüchen und ihren Äquivalenten definiert ist.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats, das den Schritt einschließt, daß man ein Halbleitersubstrat einer Hitzebehandlung in einer Gasatmosphäre unterwirft, wobei das Verfahren den Schritt umfaßt, daß man ein Halbleitersubstrat einer Hitzebehandlung bei Temperaturen nicht unter 1100°C in einer nicht oxidierenden Atmosphäre unterwirft, wobei die Hitzebehandlungsschritte vor der Hitzebehandlung, mit der das Halbleitersubstrat behandelt wird, bei Hitzebehandlungstemperaturen und in einer Hitzebehandlungszeit erfolgen, die in einen Bereich fallen, der durch eine Linie in einer graphischen Darstellung definiert ist, in der die Hitzebehandlungstemperatur auf der Abszisse aufgetragen ist und die Hitzebehandlungszeit auf der Ordinate der graphischen Darstellung aufgetragen ist, die die vier Punkte (900°C, 4 Minuten); (800°C, 40 Minuten); (700°C, 11 Stunden) und (600°C, 320 Stunden) verbindet.

2. Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitersubstrat ein Siliciumsubstrat ist.

3. Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats, das die Schritte umfaßt, daß man Siliciumatome in Bereiche zwischen den Kristallgittern in einem Siliciumsubstrat einführt und Sauerstoff, der in dem Siliciumsubstrat enthalten ist, nach außen diffundieren läßt und das Siliciumsubstrat einer Hitzebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre unterwirft. 5
4. Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats, das die Schritte umfaßt, daß man ein Halbleitersubstrat einer Hitzebehandlung bei einer Temperatur nicht unter 1100°C in einer oxidierenden Atmosphäre unter Bildung eines Oxidfilms auf der Oberfläche des Siliciumsubstrats unterwirft und den Oxidfilm unter Freilegung der Oberfläche des Siliciumsubstrats entfernt, wonach man das Siliciumsubstrat mit der freigelegten Oberfläche einer Hitzebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre unterwirft. 10
5. Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Hitzebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre bei einer Temperatur nicht unter 1200°C für wenigstens 1 Stunde in einer nicht oxidierenden Atmosphäre durchgeführt wird. 20
6. Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Hitzebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre durchgeführt wird in einer Inertgasatmosphäre. 25
7. Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration von Sauerstoffgas, Stickstoffgas oder Gas auf Basis von Kohlenstoff in der Inertgasatmosphäre nicht höher als 10 ppb ist. 30
8. Verfahren zur Behandlung eines Halbleitersubstrats nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Hitzebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre durchgeführt wird in einer Wasserstoffgasatmosphäre. 35
9. Halbleitersubstrat, das einen ersten Bereich, der zwischen der Hauptoberfläche und einer Ebene definiert ist, die eine Tiefe von 10 µm hat, gemessen von der Hauptoberfläche, wobei der erste Bereich eine Defektdichte nicht über  $10^7$  Defekte/cm<sup>3</sup> aufweist, und einen zweiten Bereich umfaßt, der so definiert ist, daß er tiefer liegt als eine Ebene mit einer Tiefe von 50 µm, gemessen von der Hauptoberfläche, wobei der zweite Bereich eine konstante Defektdichte aufweist, die in einen Bereich zwischen  $10^7$  Defekte/cm<sup>3</sup> und  $10^9$  Defekte/cm<sup>3</sup> fällt, wobei die Defektdichte innerhalb des Bereichs, der zwischen dem ersten und dem zweiten Bereich liegt, so verteilt ist, daß die Defektdichte mit einem Rückgang der Entfernung von der Hauptoberfläche zurückgeht. 45
10. Halbleitersubstrat nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitersubstrat ein Siliciumsubstrat ist. 55

FIG. 3

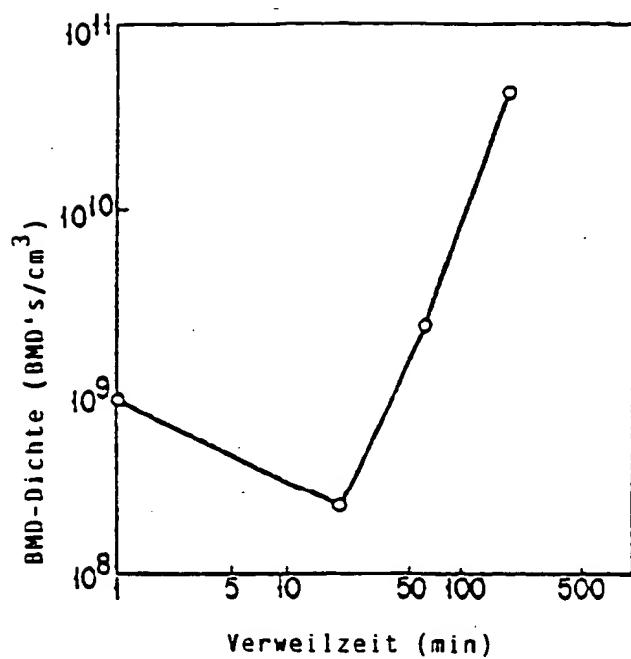


FIG. 4

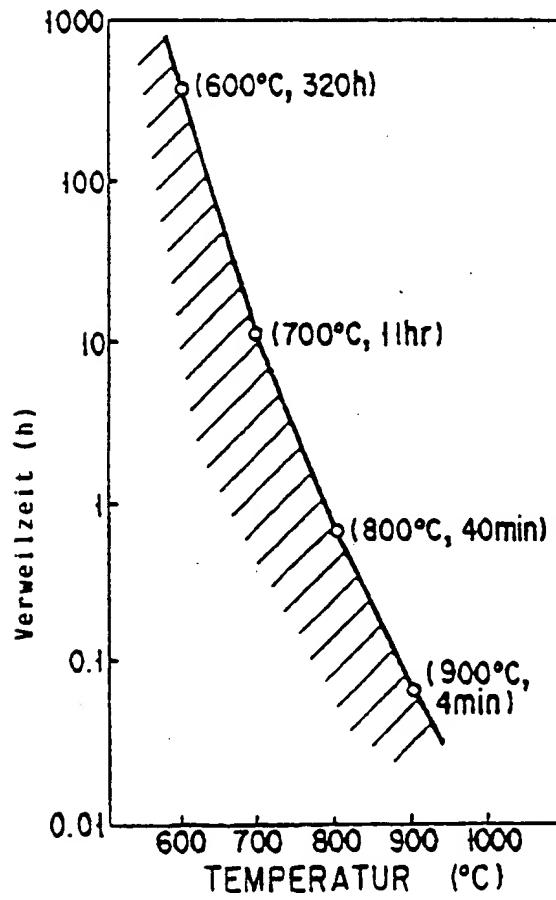


FIG. 1

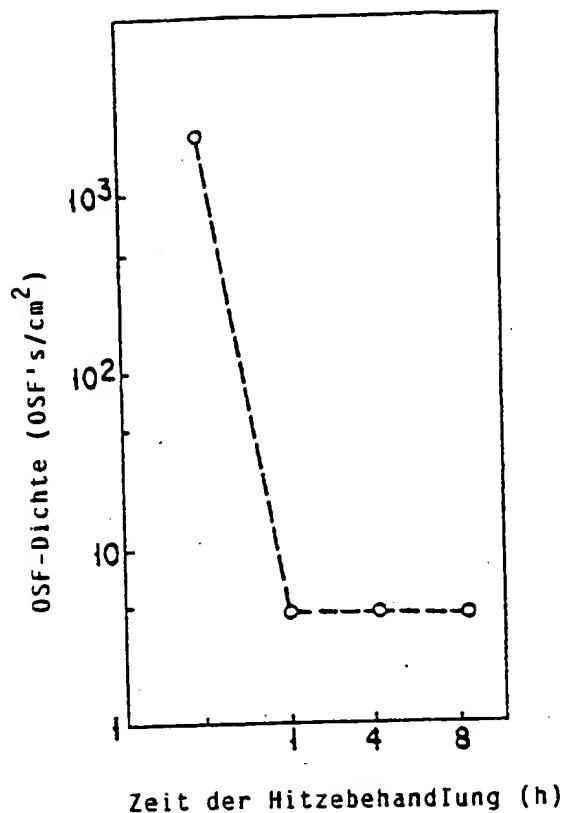
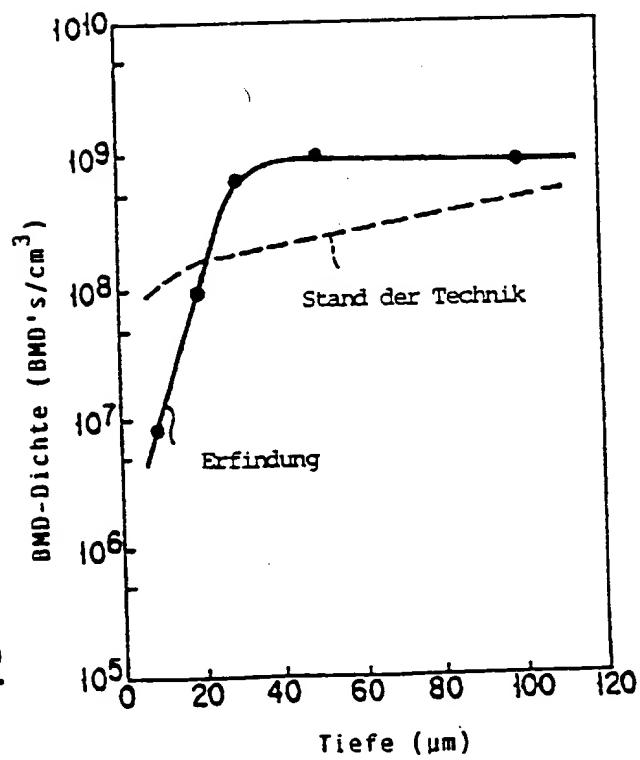


FIG. 2



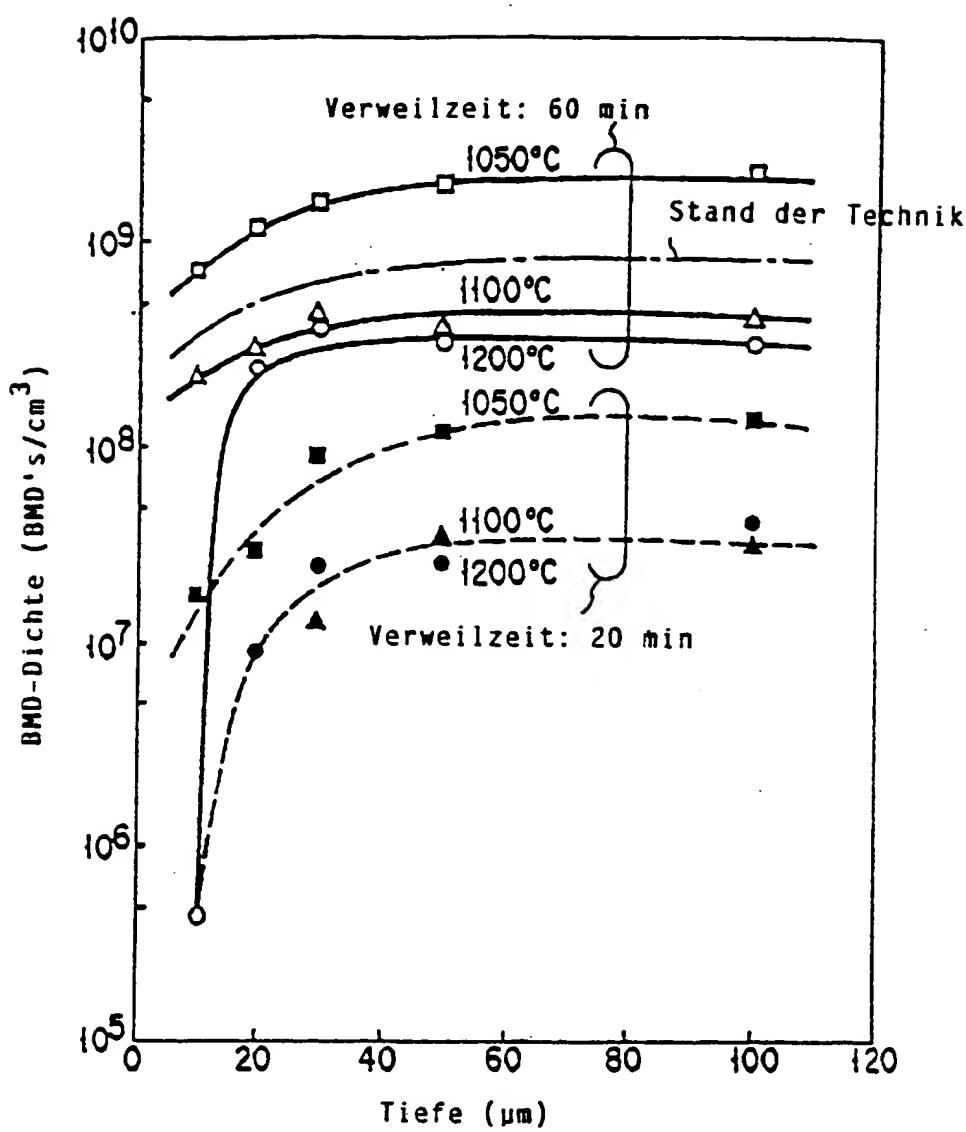


FIG. 5

FIG. 6

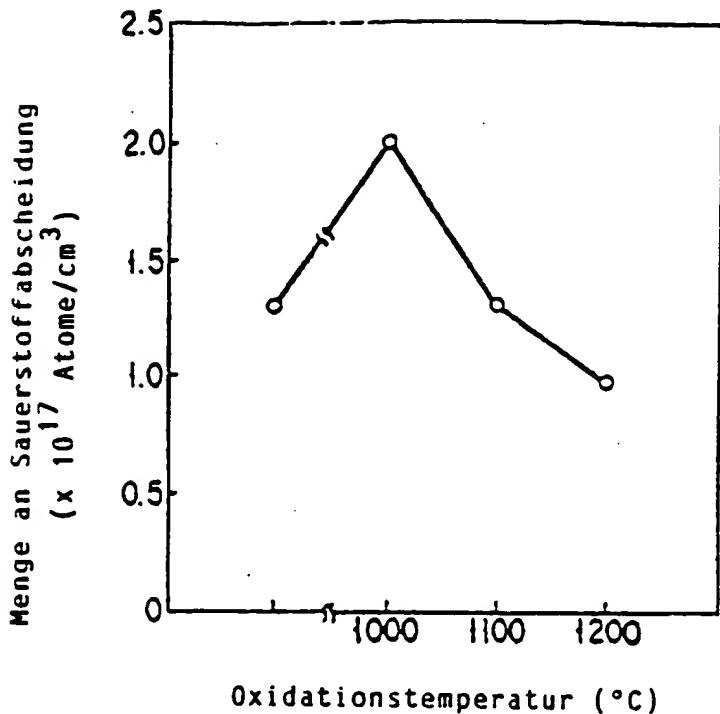


FIG. 7

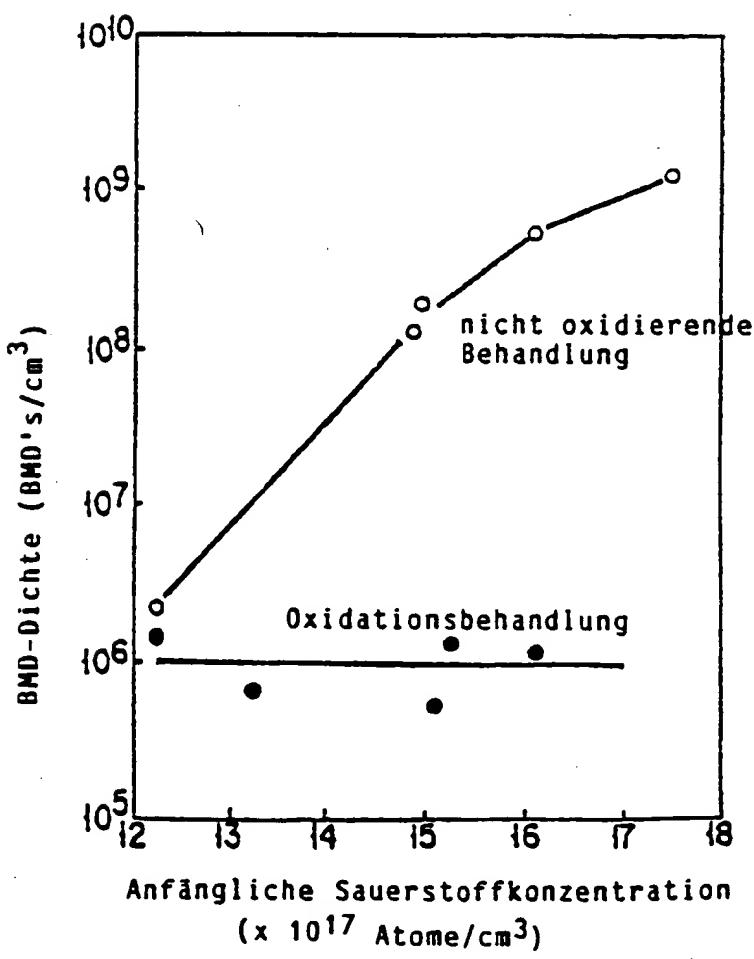


FIG.

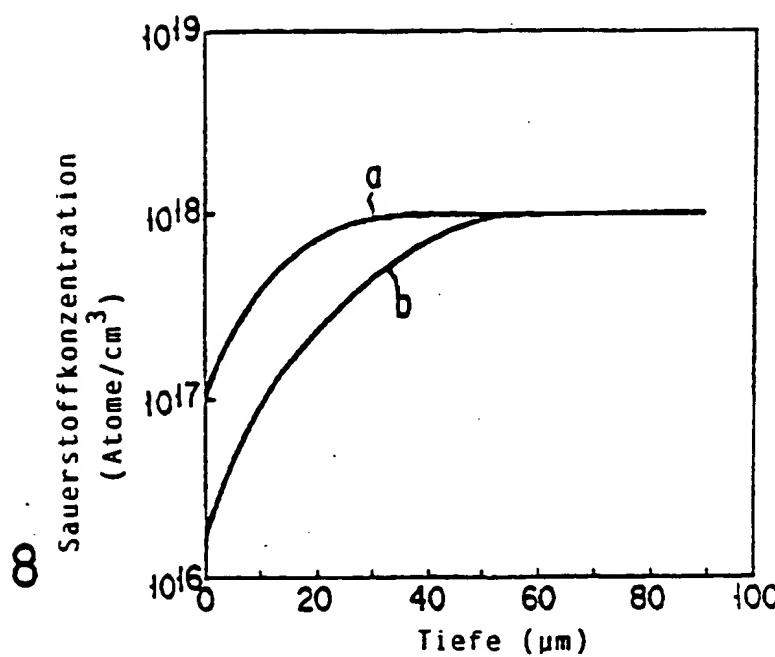
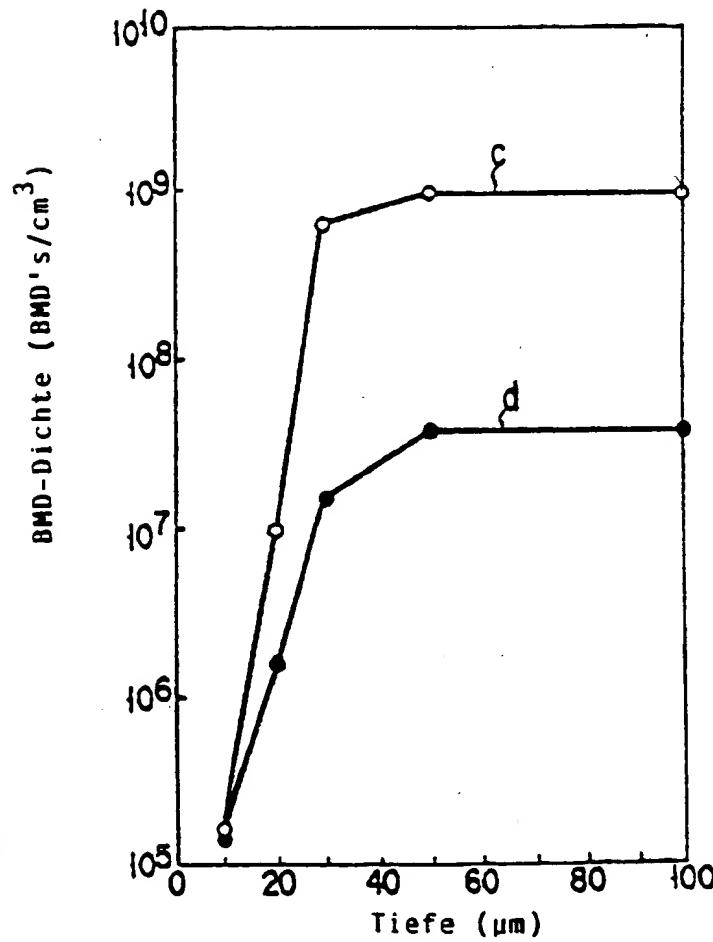


FIG. 9



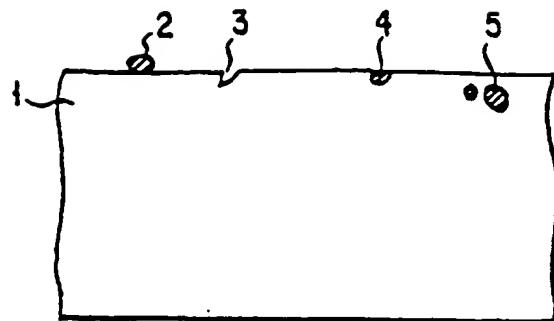


FIG. 10

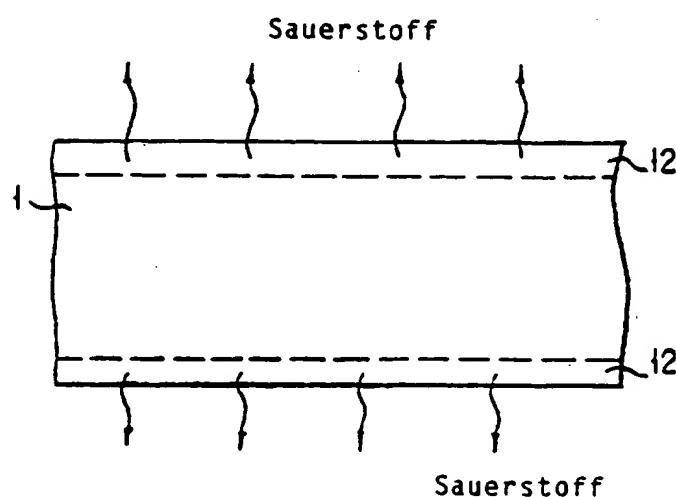


FIG. 11A

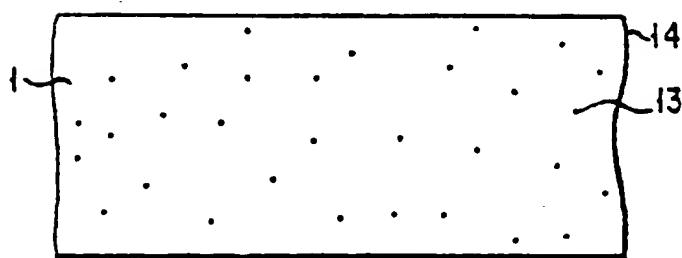


FIG. 11B

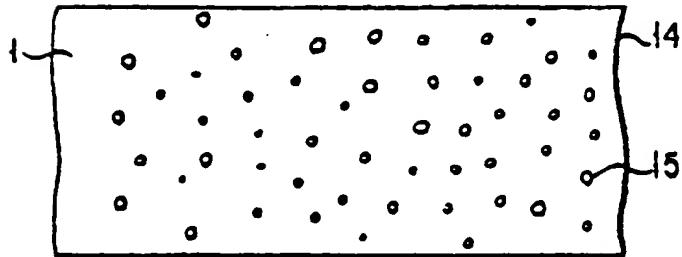


FIG. 11C